

# 外部費用評価の実証的側面：公衆の健康損害に関するエネルギー外部性の評価手法

Assessing the Externalities of Energy : Evaluation of Damage on Public Health

松川 勇\*

Isamu Matsukawa

## 1. はじめに

地球温暖化をはじめ、さまざまな環境問題が深刻化する中で、環境に関する外部費用の計測に対する関心が高まっている。たとえばアメリカでは、スーパーファンド法の対象となった廃棄物処分地における天然資源の被害評価をめぐる訴訟や、1988年にアラスカで起きたエクソン社バルディーズ号の原油流出事故を契機として、環境汚染による損害を計測する研究が大幅に増加している。我が国では、公害問題が深刻化した1960年代以降において、環境汚染の損害を貨幣換算する研究が試みられてきた<sup>1)</sup>。

環境に関する外部費用の計測事例は数多くみられるが、中でも欧州連合が行ったExternEプロジェクトは、エネルギー外部性の評価を目的として、最新の研究を含む欧米の計測事例を幅広くレビューしており、画期的な研究である。本稿では公衆の健康損害に関する価値付けの事例<sup>2), 3)</sup>を取り上げ、エネルギー外部性の評価手法について解説する。

## 2. 公衆の健康損害に関する評価手法

ExternEプロジェクトでは、エネルギーの外部費用を計測する項目として、公衆の健康・農作物・森林・生態系・騒音・水質・視覚影響・建築材料等を取り上げている。中でも、公衆の健康損害は最も重要な項目の一つであり、膨大な量の文献がレビューされている。

公衆の健康損害として取り上げられている項目には、発電及び燃料輸送に伴う大気汚染・発電所内及び燃料輸送中の事故・炭坑内の事故・事故時以外の放射線曝露による健康影響が含まれる。以下では、火力発電に伴う大気汚染の健康損害を中心に評価手法を解説する。

### 2.1 健康損害の種類

火力発電に伴って排出される主な大気汚染物質として、窒素酸化物・硫黄酸化物・粒子状物質 (PM<sub>10</sub>)・オゾン (O<sub>3</sub>) が挙げられる。このうち、疫学的な研究において大気中の濃度と個々の健康損害との因果関係が比較的明確なものとして、粒子状物質とオゾンの2つを取り上げ、これらの物質が原因で引き起こされる死亡及び疾患に焦点を当てる。

死亡及び疾患は、急性と慢性に区分される。急性疾患については、損害費用の大きさ及び症状の重さに応じて、①呼吸器系病院への入院、②緊急救命室 (Emergency Room) の利用、③制限された活動日数 (Restricted Activity Days)、④喘息による息切れ及び発作、⑤咳・痰・喉痛・目の痛みなどの兆候日数 (Symptom Days)、の5種類を想定する。③の制限された活動日数とは、大気汚染に伴う喘息等の呼吸器系の疾患によって、学校や会社等における日常的な活動ができなくなる日数を示す。⑤の兆候日数とは、疾患の兆候が見られる日数を示す。

慢性疾患については、疾患に対する抵抗力や損害額の差を考慮して、成人と子供に区分して評価を行う。成人については気管支炎及び呼吸器系疾患を、また、子供については気管支炎及び咳を、それぞれ取り上げる。

### 2.2 統計的生命の価値

健康損害の指標として、「統計的生命の価値 (Value of a Statistical Life)」を用いる。統計的生命の価値は、死亡確率の減少に対する平均的な支払意思額 (WTP)、または死亡確率の増加に対する平均的な受入意思額 (WTA) を、その死亡確率の変化量で割った数値で定義される。たとえば、交通事故による死亡を回避するためにエアバッグを装備する場合、死亡確率を0.01削減するエアバッグに対して個々の運転者が支払う意思額の平均が10万円であれば、統計的生命の

\* 武蔵大学経済学部教授

〒176-8534 東京都練馬区豊玉上1-26-1

価値は、10万円÷0.01=1,000万円になる。ただし、死亡確率1に対するWTAが1,000万円であることを意味するわけではない。

統計的生命の価値は、期待効用理論をベースとしており、経済理論と整合した指標である<sup>4),5)</sup>。現在j歳の消費者がt歳まで生存する確率を $q_{jt}$ 、t歳の時の消費 $c_t$ から得る効用を $U(c_t)$ とすると、現在から生存可能な最高年齢Tまでの期間における期待効用の現在価値総額 $V_j$ は、

$$V_j = \sum_{t=j}^T (1 + \rho)^{j-t} q_{jt} U(c_t)$$

で与えられる。ただし、 $\rho$ は主観的時間割引率(時間選好率)を表す。利子率を $r$ 、t歳の時の所得を $y_t$ 、初期資産を $W_j$ で表し、期待予算制約

$$\sum_{t=j}^T (1+r)^{j-t} q_{jt} c_t = \sum_{t=j}^T (1+r)^{j-t} q_{jt} y_t + W_j$$

の下で最大化された期待効用の現在価値総額を $V_j^*$ とすると、これは、パラメータ $q_{jt}$ 、 $r$ 、 $\rho$ 、 $y_t$ 、 $W_j$ の関数 $V_j^*(r, \rho, q_{jj}, \dots, q_{jT}, y_j, \dots, y_T, W_j)$ によって表すことができる。このとき、生存確率が $q_{jt}$ から $q_{jt}'$ へ増加することに対するWTP( $WTP_{jt}$ と表記する)を、

$$V_j^*(r, \rho, q_{jj}, \dots, q_{jt}', \dots, q_{jT}', y_j, \dots, y_T, W_j) - WTP_{jt} = V_j^*(r, \rho, q_{jj}, \dots, q_{jT}, y_j, \dots, y_T, W_j)$$

と定めることができる。生存確率の増加を $\Delta q_{jt}$ とすると、統計的生命の価値(VOSL)は

$$VOSL = WTP_{jt} / \Delta q_{jt} \quad (1)$$

で与えられる。 $WTP_{jt}$ と死亡リスクの変化を合わせて(1)式を計算することによって、経済理論と整合した統計的生命の価値を計測することができる。

### 2.3 死亡リスクの減少に対する支払意思額の推計手法

死亡リスクの減少に対する支払意思額を推計する手法として、主に、①賃金リスク法(Wage-Risk Method)、②CVM(Contingent Valuation Method)、③市場調査法(Consumer Market Studies)の3種類が適用される。

#### (1) 賃金リスク法

年齢・学歴・技能等の条件を一定とすれば、死亡リスクの高い職業ほど割高な賃金が支払われることが期

待される。賃金リスク法は、労働者が各職業の死亡リスクを正確に認識し、労働市場が流動的であるとの仮定の下で、観察された賃金等のデータを基に、死亡リスクの減少に対する支払意思額を推計する方法である<sup>6)</sup>。

具体的には、職業別の賃金水準を、学歴・年齢・労働災害による死亡率等の変数で回帰し、推定した回帰係数を用いて、死亡率1単位の減少に対する賃金の変化を計測する。賃金リスク法は、比較的容易にデータが収集できる点が長所である。しかし、労働市場の流動性や死亡リスクに対する認識の完全性等の前提条件が、必ずしも成立しない点、及び過去の研究において死亡リスクの係数の符号条件が満足されない点に問題がある。

#### (2) CVM

CVMは、仮想的な状況におけるリスクの変化に対する支払意思額もしくは受入意思額を、アンケート調査や実験を通じて対象者に直接回答させ、回答結果をもとに損害費用を計測する方法である<sup>7)</sup>。調査の精度を高めるため、可能な限り具体的な状況が想定され、回答者には詳細な情報が提供される。また、回答の信頼性を高めるため、支払意思額を尋ねる実験において回答した金額を後で実際に支払わせる調査も行われている。

CVMの問題点として、回答者が環境改善からの便益や環境汚染からの被害を直接経験していない場合には、計測結果の信頼性が低下する点が挙げられる。このため、死亡リスクの評価に適用するには注意が必要である。

#### (3) 市場調査法

市場調査法は、禁煙ガムやエアバッグなど、死亡リスクを削減するために消費者が自発的に購入する商品の価格を調査することによって、死亡リスクの削減に対する支払意思額を計測する。この方法は、データの収集が容易であり、計測も簡単である。しかし、対象となる商品の価格から、死亡リスク削減以外のさまざまな要因(ブランド、デザイン、企業間の競争等)の影響を除去することが困難な点が問題である。

## 3. 大気汚染による死亡及び疾患に関する評価

発電に伴って排出される大気汚染物質のうち、粒子状物質及びオゾンが引き起こす死亡・疾患の損害を評価する方法について、ExternEの研究を中心に解説する。

### 3.1 統計的生命の価値に関する推計

統計的生命の価値を計測した欧米の研究は数多く見られるが<sup>8),9)</sup>, ExternEでは過去の欧米の研究結果を、手法別に表1のようにまとめている。推計手法間で比べると、市場調査法の推計値が、いずれの地域においても低い数値を示している。ヨーロッパの推計値の大部分はイギリスのものであり、CVMの推計値が高い。これに対して、アメリカでは賃金リスク法の推計値が高い。ただし、すべての手法を平均すると、統計的生命の価値は300万ECU前後の水準にある。ExternEの損害費用評価では、統計的生命の価値として310万ECU（1995年価格）が採用されている。

表1 統計的生命の価値に関する欧米の推計値<sup>10)</sup>  
(1995年価格, 100万ECU)

	ヨーロッパ	アメリカ
賃金リスク法	3.4-4.3	4.2-6.6
CVM	4.7-8.3	1.7-3.0
市場調査法	1.0-3.5	1.2-1.3
平均	2.5-4.4	2.4-3.6

### 3.2 大気汚染による死亡

急性及び慢性疾患に伴う死亡に対する評価では、統計的生命の価値を期待余命1年当りに換算した「喪失余命の価値 (Value of Life Years Lost)」を適用する。たとえば、期待余命を35年、統計的生命の価値を7億円とすると、割引率ゼロの場合には、喪失余命の価値は、7億円÷35年=2,000万円となる。将来における余命の価値を割引いて算定する場合には、他の条件を一定とすると喪失余命の価値の数値は増加することになる。

大気汚染による健康損害の評価では、喪失余命の価値・曝露応答 (Exposure-Response) 係数・汚染物質の濃度、の3種類のデータを利用する。曝露応答係数は、汚染物質1単位あたりの年死亡率の変化で定義される。たとえば、曝露応答係数を0.01%/ppb、喪失余命の価値を9,000万円とすると、火力発電によってオゾン濃度が1,000ppb増加した場合の損害額は、9,000万円×(0.0001/ppb)×1,000ppb=900万円となる。なお、以下では曝露応答係数について過去の計測結果の中央値のみを取り上げているが、年齢・地域・性別・病歴等さまざまな要因によって健康影響に差が生じるため、ExternEでは最大値と最小値についても別途考慮した評価を行っている。

#### (1) 急性疾患による死亡

曝露応答係数は、汚染物質1単位あたりの年間死亡率の変化によって表す。粒子状物質に関連する死亡については、アメリカ・アラバマ州を対象とした1985-88年の研究結果を用いて、0.104%/ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に設定した。また、オゾンについては、アメリカ・ロサンゼルス市を対象とした1994年の研究結果を用いて、0.015%/ppbに設定した。喪失余命の価値については、割引率0%の場合73,500ECU（1995年価格）を採用した。

#### (2) 慢性疾患による死亡

粒子状物質による慢性疾患を対象とし、イギリスの研究結果を適用して曝露応答係数を0.386%/ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) に設定した。この研究では、8年間にわたって収集した50万人のデータを用いて、曝露応答係数を計測している。喪失余命の価値については、割引率0%の場合98,000ECU（1995年価格）を採用した。

### 3.3 大気汚染による疾患

疾患に対する評価では、過去の研究において計測されたWTPの数値を適用するが、急性疾患のうち喘息による息切れ・発作についてのみ治療費 (Costs of Illness) を適用する。大気汚染が引き起こす損害は、WTP (あるいは治療費) ・曝露応答係数・汚染物質の濃度、の3要因をもとに算定する。曝露応答係数は、疾患の種類に応じて、汚染物質1単位あたりの患者数の変化・発生病数の変化・発生日数の変化、がそれぞれ適用される。たとえば、火力発電によってオゾン濃度が100ppb増加して喘息が発生した場合、曝露応答係数を0.1件/ppb、喘息の発生病数1回の減少に対するWTPを10万円とすると、損害額は10万円×(0.1/ppb)×100ppb=100万円となる。

表2に、疾患の種類別に算定した損害費用及び曝露応答係数を掲げる。損害費用については、喘息による発作・息切れについてのみ治療費をベースに設定しており、それ以外の項目では、CVMを用いて計測したアメリカの研究成果を利用している。曝露応答係数については、疾患の種類別及び汚染物質別に定めており、測定単位は損害によって異なる。慢性閉塞性肺疾患 (COPD) は、主に肺気腫・慢性気管支炎等の肺疾患である。制限された活動日数の曝露応答係数のうち、オゾンについては、休業日数や病床に伏している日数を除いたMRAD (Minor Restricted Activity Days) を採用している。

表2 曝露応答係数と疾患の損害費用<sup>11), 12)</sup>

損害の種類 (曝露応答係数の単位)	疾患	曝露応答係数	損害費用 (1995年価格, ECU)
呼吸器系病院への入院 (10万人あたり年間入院患者数)	呼吸器系感染症 (肺炎等)	PM <sub>10</sub> : 0.187人 / (μg/m <sup>3</sup> )	7,870
		O <sub>3</sub> : 0.303人 / ppb	
	慢性閉塞性肺疾患 (COPD)	PM <sub>10</sub> : 0.227人 / (μg/m <sup>3</sup> )	
O <sub>3</sub> : 0.220人 / ppb			
緊急救命室の利用 (10万人あたり年間利用回数)	喘息	O <sub>3</sub> : 0.571人 / ppb	223
	慢性閉塞性肺疾患 (COPD)	PM <sub>10</sub> : 0.72回 / (μg/m <sup>3</sup> )	
		O <sub>3</sub> : 2.63回 / ppb	
制限された活動日数 (成人1,000人あたり年間日数)	喘息	PM <sub>10</sub> : 1.29回 / (μg/m <sup>3</sup> )	75
		O <sub>3</sub> : 2.63回 / ppb	
	子供の喉頭炎	PM <sub>10</sub> : 2.91回 / (μg/m <sup>3</sup> )	
喘息による息切れ・発作 (喘息患者一人あたり年間日数)		PM <sub>10</sub> : 49.9日 / (μg/m <sup>3</sup> )	37
		O <sub>3</sub> : 0.582日 / ppb	
兆候日数 (年間1,000人あたり日数)		PM <sub>10</sub> : 465日 / (μg/m <sup>3</sup> )	7.5
		O <sub>3</sub> : 52.8日 / ppb	
成人の慢性疾患 (成人10万人あたり年間患者数)	気管支炎	PM <sub>10</sub> : 70人 / (μg/m <sup>3</sup> )	105,000
	呼吸器系疾患	PM <sub>10</sub> : 95人 / (μg/m <sup>3</sup> )	
子供の慢性疾患 (子供10万人あたり年間患者数)	気管支炎	PM <sub>10</sub> : 161人 / (μg/m <sup>3</sup> )	225
	咳	PM <sub>10</sub> : 207人 / (μg/m <sup>3</sup> )	

### 3.4 主な問題点

#### (1) 汚染物質と曝露応答関数

ExternEでは粒子状物質とオゾンの2種類の汚染物質を取り上げ、それぞれ別個に評価している。しかし、汚染物質間に高い相関が存在する場合や、硫酸化物・窒素酸化物等の影響が無視できない場合の評価手法について検討する必要がある。また、ExternEで想定された曝露応答関数については、汚染物質の濃度と健康被害の関係がすべて線形であると仮定されているが、閾値の存在が重要な場合には非線形の曝露応答関数を適用する必要がある。

#### (2) 統計的生命の価値の推計

死亡リスクの評価に対して統計的生命の価値を適用する場合、リスクの性質 (自発的リスクと非自発的リスク)・年齢・所得・資産・生活の質等のさまざまな要因がWTPに与える影響を考慮する必要がある。ExternEでは、温暖化の損害評価に適用するため、購買力平価で調整した実質GDPを用いて、ヨーロッパの基準値をもとに国別の統計的生命の価値を推計している。我が国の推計値は、369万ECU (1995年価格) である。しかし、経済格差のみを考慮した損害の国際比較には問題がある。今後は、可能な限り統一した手法のもとで国別に損害費用を推計することが望まれる。

### 4. 結語

膨大な研究成果を丹念に調査し、一貫した分析枠組みの下でエネルギー外部性の評価を行っている点で、ExternEに学ぶ点は数多い。しかし、ExternEの損

害評価の根拠を形成している研究の大部分が欧米の事例であり、我が国に適用するためには多くの問題を解決する必要がある。特に、WTPや曝露応答係数は、当該地域の価値観・生活様式・所得水準・気候等さまざまな要因によって影響を受けるため、できる限り我が国のデータを適用するのが望ましい。今後の課題として、我が国において十分信頼に足るデータの蓄積があげられる。

#### 参考文献

- 1) 植田和弘; 環境経済学, (1996), 79-81, 岩波書店.
- 2) European Commission; ExternE Externalities of Energy, vol. 2, Methodology, (1995), 61-156, 507-520.
- 3) European Commission; ExternE Externalities of Energy, vol. 7, Methodology 1998 update, (1999), 239-265.
- 4) A. M. Freeman III; The Measurement of Environmental and Resource Values, (1993), 334-341, Resources for the Future.
- 5) 岡敏弘; 厚生経済学と環境政策, (1997), 129-133, 岩波書店.
- 6) OECD; Environmental Policy Benefits, (1989), 31-35.
- 7) J. A. Hausman; Contingent Valuation, (1993), 29-31, North-Holland.
- 8) 岡敏弘; 環境政策論, (1999), 129-133, 岩波書店.
- 9) M. L. Cropper and W. E. Oates; Environmental Economics: A Survey, Journal of Economic Literature, 30 (1992), 675-740.
- 10) 前掲3), 241.
- 11) 前掲3), 258.
- 12) 前掲2), 138-140.